

Consideraciones sobre el karst de Nerja

Francisco Carrasco ⁽¹⁾, Juan José Durán ⁽²⁾, Bartolomé Andreo ⁽¹⁾, Cristina Liñán ⁽¹⁾ e Iñaki Vadillo ⁽¹⁾

RESUMEN

En este trabajo se describen las características geológicas e hidrogeológicas del entorno de la cueva de Nerja, se hacen algunas consideraciones geocronológicas en función de las dataciones absolutas efectuadas y se analizan la geoquímica de las aguas de infiltración y la dinámica de la karstificación. La cueva de Nerja es una cavidad en el conjunto del vasto afloramiento de mármoles alpujárrides que constituye Sierra Almijara, está situada por encima del nivel piezométrico (zona no saturada) del acuífero carbonatado, y constituye un punto de drenaje antiguo, donde la funcionalidad del karst es muy limitada en la actualidad

Palabras clave: Mármol alpujárride, Cueva de Nerja, Geocronología, Hidrogeología.

ABSTRACT

In this work, the geological and hydrogeological characteristics of the area round of the Nerja cave, are described, some geochronological conclusions have been made with the data obtained from absolute dating and the geochemistry of the infiltration waters and the dynamic of the karstification are analyzed. The cave of Nerja is a cavity in the outcrops of alpujarride marbles that make up Sierra Almijara. The cave is situated above the piezometric level (non saturated zone) of the carbonated aquifer and constitutes a point of old drainage where the functioning of the karst is actually very limited.

Key words: Alpujarride marbles, Cave of Nerja, Geochronology, Hydrogeology.

INTRODUCCIÓN

La Cueva de Nerja está situada a unos 3 km al este de la localidad del mismo nombre, en el extremo oriental de la provincia de Málaga, cerca del límite con la de Granada, en un margo geográfico dominado por la agreste Sierra Almijara al norte y el mar Mediterráneo al sur (Fig.1).

Fue descubierta en enero de 1959 por un grupo de jóvenes de las localidades de Maro y Nerja. Durante un año sólo se conocieron lo que hoy se denominan Galerías Turísticas, es decir, la parte visitable de la cavidad, que aproximadamente representa un tercio del total de la misma. Desde entonces se practicaron continuas exploraciones espeleológicas que dieron como resultado el descubrimiento de las llamadas Galerías Nuevas o Altas, aunque todas realmente están a una cota muy parecida a las anteriores.

En total, se conocen actualmente casi 5 km de salas y galerías, que ocupan un volumen superior a los 300.000 m³. La espectacularidad de sus salas, con abundantes y variadas concreciones (estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas y excéntricas) la convierten en uno de los

máximos exponentes del patrimonio kárstico andaluz. Todo ello, junto con la situación geográfica, en un enclave turístico por excelencia, hacen de ella uno de los monumentos naturales más visitados de toda la Costa del Sol y, al mismo tiempo, una importante fuente de riqueza para la comarca.

Pero al margen de esta importancia económica, la cueva presenta un claro interés científico, pues constituye un excelente registro fósil de su propia historia evolutiva, así como de la arqueología y de la evolución paleoclimática y neotectónica de la región.

ENTORNO GEOLÓGICO

Los relieves carbonatados que constituyen Sierra Almijara pertenecen al complejo Alpujárride de la cordillera Bética, concretamente al manto del mismo nombre (Sanz de Galdeano, 1986, 1989 y 1990a) o Alpujárride Intermedio (Martín-Algarra, 1987). Avidad y García-Dueñas (1980) y Elorza y García-Dueñas (1980), englobaron los mármoles donde se excava la cueva en la denominada por ellos unidad de Las Alberquillas y ésta, a su vez, en el manto de la Herradura.

Al sur de los relieves carbonatados, en la franja costera (Fig.1), afloran los esquistos alpujárrides y, discordantes sobre ellos, los materiales plio-cuaternarios (Fourniguet, 1975; Guerra y Serrano, 1993).

⁽¹⁾ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

⁽²⁾ Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

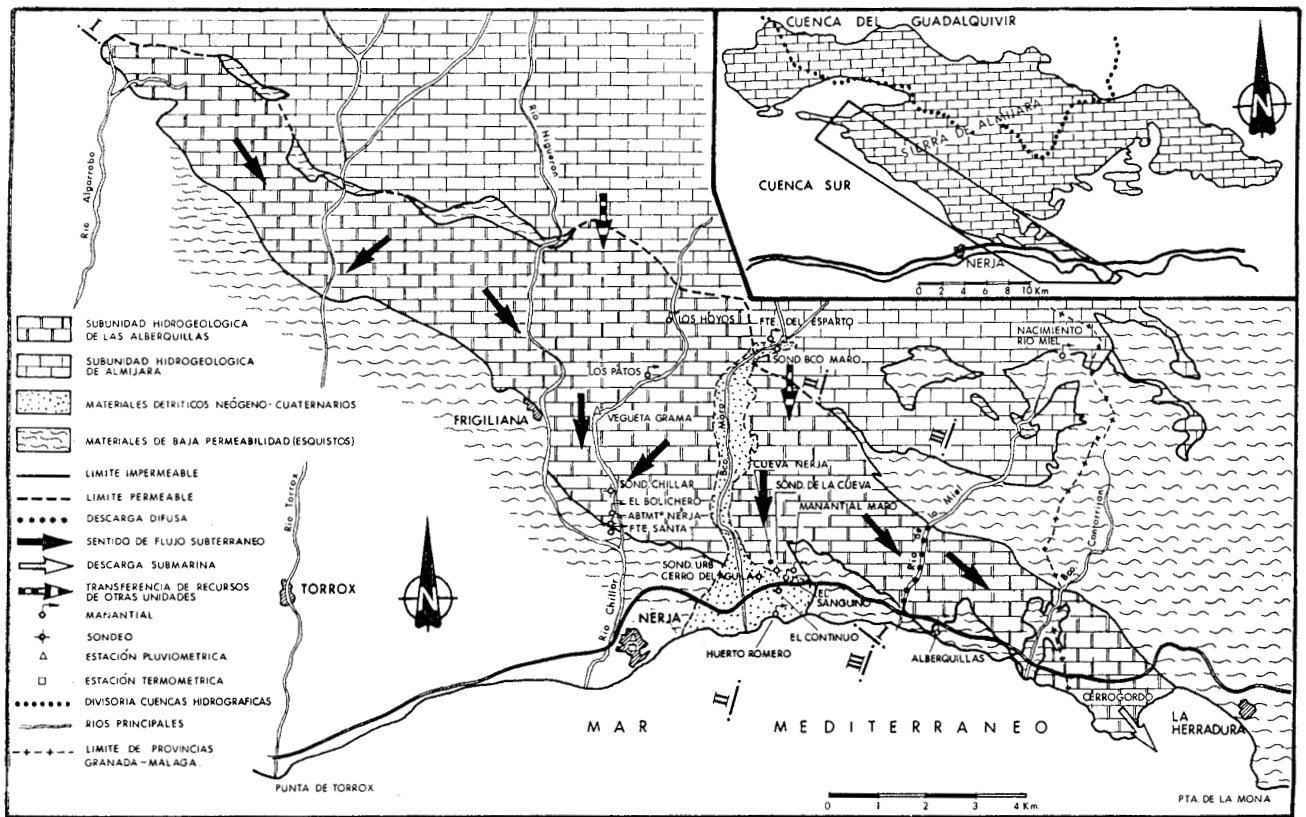


Fig.1.-Esquema geológico-hidrogeológico del entorno de la cueva de Nerja (modificado de SGOP, 1991).

Estratigrafía

En la región de Nerja la serie estratigráfica alpujárride está constituida por un conjunto inferior de metapelitas y otro superior de mármoles (Sanz de Galdeano, 1986, 1989, 1990a; Andreo *et al.*, 1993), representados en el esquema cartográfico de la Fig.1. Las metapelitas pueden alcanzar hasta 1000 m de espesor y son, fundamentalmente, esquistos oscuros en la base y claros hacia techo, atribuidos al Paleozoico y al Trías inferior, respectivamente. Esta secuencia pasa gradualmente hacia arriba, a través de unos niveles de transición de calcoesquistos, cuarcitas, mármoles y esquistos, a una potente serie marmórea.

Los mármoles de la base, en los que se desarrolla la cueva, pueden llegar a tener los 400 m de espesor. Son de naturaleza dolomítica, de color blanco o gris, muy diaclasados, a menudo de aspecto sacaroideo y su edad es Trías medio. Por encima de ellos aparece un nuevo tramo, cuya potencia en el área de estudio varía entre 30 y 100 m, constituido por mármoles, mayoritariamente calizos, con intercalaciones de calcoesquistos, atribuidos al Trías superior.

Dentro de los materiales pliocuaternarios se han podido diferenciar tres conjuntos litoestratigráficos prin-

cipales, dos de los cuales pertenecen al Plioceno y el tercero al Pleistoceno (Andreo *et al.*, 1993; Guerra y Serrano, 1993). El conjunto inferior Plioceno, aparece basculado hacia el mar unos 15-20° de media y está constituido por brechas nutridas de cantos de esquistos o de mármol (según el área fuente) depositadas en ambientes continentales, que pasan, hacia el sur y hacia arriba en la serie, a microconglomerados depositados en medio marino, con abundantes lamelibranquios. Este conjunto inferior, claramente transgresivo, está jalonado por una superficie de discordancia sobre la que se apoya, subhorizontal, el conjunto superior Plioceno formado por microconglomerados con restos de lamelibranquios, similares a los del conjunto inferior, que pasan, lateralmente hacia el norte y hacia arriba en la serie, a brechas y conglomerados depositados en ambientes fluviales.

El conjunto superior Plioceno muestra una tendencia regresiva manifiesta y termina con una discordancia erosiva sobre la cual se depositó el conjunto Pleistoceno en abanicos aluviales. Dicho conjunto está constituido esencialmente por brechas, alimentadas en su mayor parte por cantos de mármol embebidos en una matriz rojiza muy cementada ("brechas mortadela" de Lhénaff, 1981), y por los travertinos de Maro y de la desembocadura de Arroyo de la Miel. En la parte superior de estas brechas se han realizado dataciones absolutas que indican

una edad del tránsito Pleistoceno medio-Pleistoceno superior (Durán *et al.*, 1993).

Tectónica

El afloramiento del manto de Almirajara que hay entre Frigiliana y la cueva de Nerja presenta una geometría prácticamente tabular, buzante al sur unos 15-20° de media (Fig. 2). Sin embargo, la estructura es algo más compleja hacia el este, donde aparecen los esquistos de la base del manto de Almirajara cabalgando a los mármoles de su propia serie, que afloran en varias ventanas tectónicas de pequeñas dimensiones. Se trata, por tanto, de una duplicación de dicho manto en este sector.

La estructura geológica anterior ha sido afectada por fallas de desgarre y/o normales de dirección NO-SE como las que limitan Sierra Almirajara al oeste y al sur, jalonando el contacto entre los esquistos y los mármoles (Fig. 1), que han provocado movimientos verticales durante el Plioceno. Estas fallas y los sistemas de diacla-

sas asociados, según esta orientación y según la conjugada (NNE-SSO), han desempeñado un importante papel en la karstificación del macizo (Sanz de Galdeano, 1993).

En los materiales pliocuaternarios también se han dejado notar los efectos de la neotectónica, como lo demuestra el basculamiento del conjunto inferior Plioceno o la existencia de materiales lacustres inclinados en el conjunto Pleistoceno. La propia acumulación de brechas y conglomerados en los abanicos aluviales del sector costero indica que el borde sur de Sierra Almirajara se ha estado levantando hasta el Pleistoceno superior de acuerdo con las dataciones absolutas practicadas (Durán *et al.*, 1993).

GEOCRONOLOGÍA

Se han realizado dataciones absolutas a una serie de muestras recogidas en el interior de la cueva, pertenecientes a carbonatos de precipitación química, estalactitas, estalagmitas, coladas y capas calcíticas. Los métodos

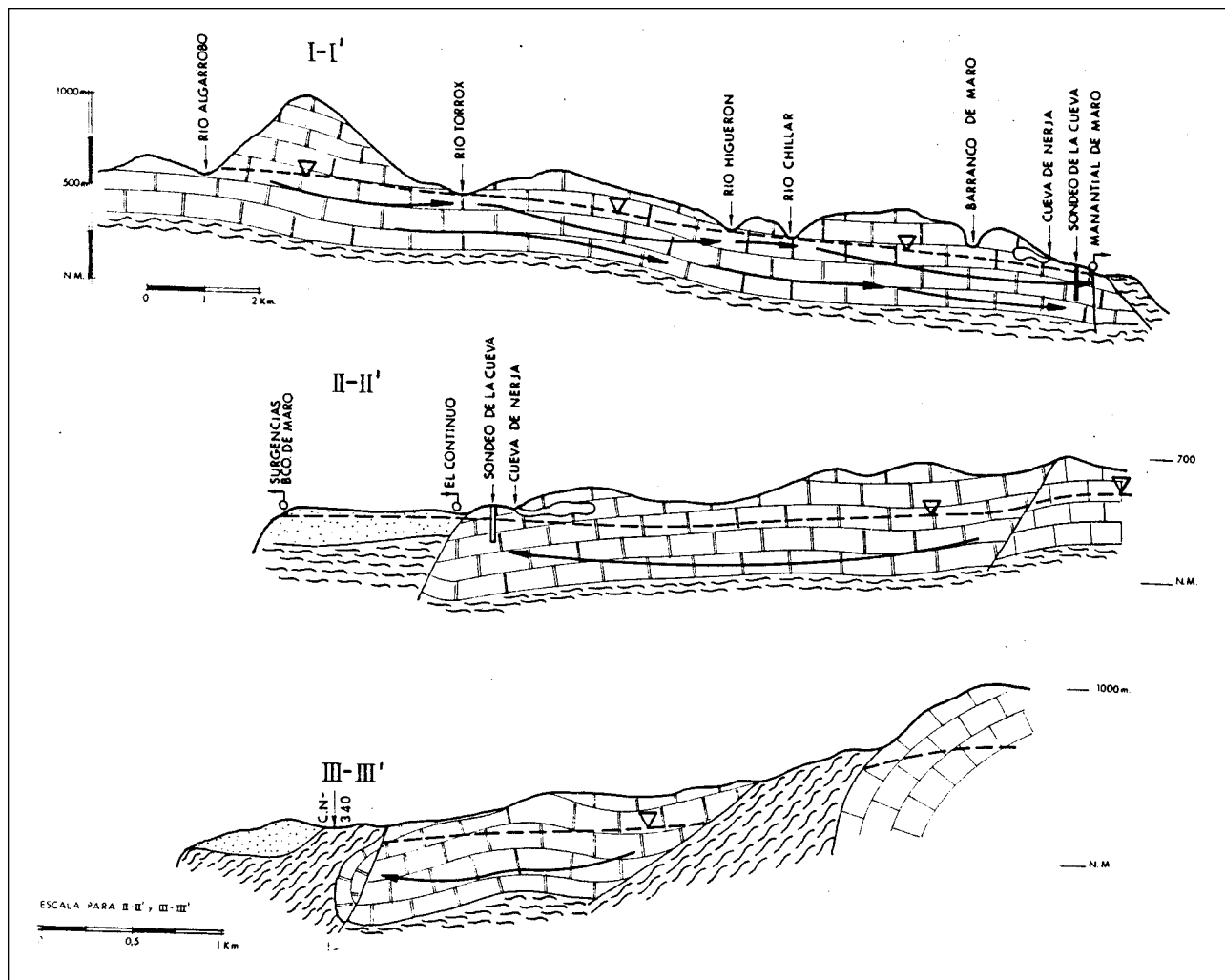


Fig.2.- Cortes hidrogeológicos del entorno de la cueva de Nerja (ver situación en la Fig.1).



Foto 1 - Relieve de los materiales carbonatados alpujárrides de la vertiente meridional de Sierra Almirajara. El sector de topografía más llana está constituido, en su mayor parte, por materiales pliocuaternarios. En primer término, el travertino de Maro (Foto: A. Sanchidrián).



Foto 2 - Gran columna de la Sala del Cataclismo en la Cueva de Nerja (Foto: A. Sanchidrián).

de datación utilizados han sido el de Electrón Spin Resonance (E.S.R.) y series de Uranio (Th/U) (Durán *et al.*, 1993; Durán, 1996).

Se considera que el inicio del periodo de karstificación que dio lugar al origen de la cueva de Nerja se remonta con total seguridad, como mínimo, al Pleistoceno Superior, al haberse datado espeleotemas de

más de 800.000 años de antigüedad. Es posible que la génesis de la cavidad se remonte al Plioceno Superior e incluso a momentos anteriores.

Del análisis global de los resultados geocronológicos obtenidos en los espeleotemas se obtienen con claridad seis generaciones o fases de crecimiento en torno a las siguientes edades (Durán, 1996):

La más antigua se sitúa en torno a los 800.000 años B.P. quizás correspondiente a algunos momentos cálidos del final del Pleistoceno Inferior o principios del Pleistoceno Medio, en los que los máximos de temperatura podrían ser un momento óptimo para la génesis de importantes volúmenes de espeleotemas que marcan esta generación.

Otras generaciones se sitúan en torno a los 350.000 B.P. y 260.000 B.P. El cuarto periodo está comprendido entre 180.000 B.P. y 110.000 B.P., con un máximo neto hacia 150.000 B.P. El periodo siguiente se encuentra comprendido entre 100.000 B.P. y 60.000 B.P., con un máximo absoluto hacia 85.000 B.P. y, por último, una etapa netamente holocena.

Estos periodos de generaciones de espeleotemas coinciden con épocas de temperaturas relativamente elevadas y carácter húmedo y están en concordancia con los estadios paleoclimáticos cálidos deducidos de los isótopos del oxígeno en el registro marino profundo por Shackleton y Opdyke (1973).

HISTORIA GEOLÓGICA

Existen pocos datos que sirvan como jalones cronológicos bien establecidos acerca de los materiales alpujárrides del entorno de la cueva. Así, los esquistos que hoy constituyen la base de la serie alpujárride debieron corresponder a una secuencia más o menos pelítico-arenosa depositada, durante el Paleozoico, en un área situada en el Mediterráneo occidental. Sobre ella se depositaron, durante el Trías, los sedimentos carbonatados, actualmente mármoles, que forman los relieves de Sierra Almirajara. No se tiene constancia de que se depositaran otros sedimentos mesozoicos ni terciarios en el dominio Alpujárride de esta región.

Dentro de la orogenia alpina se produjo el metamorfismo que transformó las arcillas en esquistos y los carbonatos en mármoles.

Antes del Aquitaniense superior se produjo la estructuración en mantos de las zonas Internas de la cordillera Bética y a partir de este momento se inició la deriva hacia el oeste, como un terreno exótico, hasta su colisión con el margen suribérico a finales del Burdigaliense inferior (Martín-Algarra, 1987; Sanz de Galdeano 1990 b).

A comienzos del Burdigaliense medio ya se habían configurado las principales estructuras de plegamiento y cabalgamiento que conforman la cordillera a escala regional. Desde entonces comenzó el rejuego, como fallas normales, de las superficies que hasta entonces habían sido de cabalgamiento y, además, se formaron fallas de desgarre de escala plurikilométrica, como las que jalonan los bordes oeste y sur de Sierra Almirajara. A partir de entonces, dicha sierra quedó emergida y los mármoles que la constituyen en condiciones de ser karsificados.

En la cuenca de Nerja los materiales neógenos más antiguos que afloran en superficie son de edad Plioceno, aunque en el fondo marino debe existir un registro más completo. Hacia el Plioceno inferior se produjo el depósito de las brechas del conjunto inferior Plioceno en abanicos aluviales que, lateralmente hacia el sur, pasaban a un medio marino somero donde se depositaban microconglomerados y arenas. Todos ellos sufrieron, simultánea y/o posteriormente a su sedimentación, un basculamiento que dió lugar a la discordancia intrapliocena.

El área donde se producía la sedimentación marina se mantuvo, aproximadamente, en la misma posición durante el Plioceno medio-superior, quizás con la excepción del sector de arroyo de la Miel, hasta que el mar empezó a retirarse y comenzaron a depositarse los conglomerados y brechas rojas continentales. Es muy posible que para esta época ya existiera, por lo menos, una parte de lo que hoy se conoce como cueva de Nerja.

Durante el Pleistoceno se instalaron en la región abanicos aluviales (como los de Frigiliana, Nerja y Maro), que depositaron extensos afloramientos de brechas, constituidas mayoritariamente por cantos de mármoles de Sierra Almirajara. Ello pone de manifiesto que el levantamiento del relieve ha continuado prácticamente hasta la actualidad.

Mientras tanto en el interior de la cueva, ya existía una importante sedimentación litoquímica que, probablemente, se vió afectada por un movimiento sísmico ocurrido hace unos 800.000 años (Durán *et al.*, 1993). La formación de espeleotemas ha continuado desde entonces, con un ritmo mayor en los episodios climáticos cálidos.

A finales del Pleistoceno se formaron los travertinos existentes en la región, relacionados con las aguas saturadas en calcita que, por aquel entonces, debió llevar el manantial de Maro. Para esta época ya existía el acantilado de la playa de Maro, o al menos parte del mismo, sobre el cual se formó el travertino.

El relleno de la cueva con materiales procedentes del exterior se inició hace, aproximadamente, unos 20.000 años, durante el tránsito Pleistoceno-Holoceno (Jordá-Pardo *et al.*, 1990).

MARCO HIDROGEOLÓGICO

El afloramiento carbonatado de Sierra Almirajara pertenece al sistema acuífero número 41, definido por el IGME (1983) con el nombre de "Calizas y dolomías de la Sierra Almirajara-Sierra de Lújar". Dentro de la clasificación establecida por el SGOP (1988), se encuentra en la unidad hidrogeológica Tejada-Almirajara-Guájares. Concretamente, la cueva de Nerja, se ha formado en los mármoles del extremo meridional de la Sierra Almirajara que tradicionalmente se ha denominado como acuífero de las Alberquillas (Fig.1).

La alimentación de este acuífero se realiza, principalmente, por la infiltración de parte del agua de lluvia caída directamente sobre el afloramiento de los materiales permeables. También hay una parte de las entradas al acuífero que procede de la infiltración de las aguas de escorrentía en el curso medio-alto de los ríos que lo surcan.

Según otros trabajos previos (Ollero Robles *et al.*, 1988; SGOP, 1991; Fernández del Río *et al.*, 1992; Andreo y Carrasco, 1993b), el flujo subterráneo regional se realiza de noroeste a sureste (Figs. 1 y 2), aunque hay diferencias de la cota piezométrica en determinados sectores, como en el río Chíllar, que ponen de manifiesto la existencia de heterogeneidades en el acuífero.

Actualmente, la descarga tiene lugar de forma natural por los manantiales que hay en su borde meridional, entre los que destaca el de Maro, y a través de las captaciones existentes. Precisamente en relación con la surgencia de Maro, durante el Pleistoceno superior, se ha depositado el afloramiento travertínico situado en los acantilados de la línea de costa. Además, hay una aportación del acuífero hacia el curso bajo de los ríos que lo atraviesan, sobre todo en épocas lluviosas. Dentro de las salidas deben incluirse también las descargas subterráneas desde los mármoles hacia las formaciones pliocuaternarias y, eventualmente, de éstas al mar, o bien directamente submarinas puesto que los mármoles conectan con el mar en el extremo oriental del acuífero.

Como consecuencia del levantamiento tectónico producido, la cueva ha quedado colgada por encima de la zona saturada (Fig. 2), de modo que las partes más bajas de la cavidad se encuentran varios metros sobre el nivel piezométrico actual. Así, la cueva de Nerja se convierte en un lugar privilegiado para el estudio directo de la infiltración aunque, lógicamente, puede ser poco representativa del conjunto de la zona no saturada del acuífero.

LAS AGUAS DE LA ZONA SATURADA DEL ACUIFERO

Sólamete se consideran dos puntos de agua relacionados con la zona saturada del acuífero, que están

situados en el entorno inmediato de la cueva (Andreo y Carrasco, 1993a, Carrasco *et al.*, 1995 y 1996): el manantial de Maro y el sondeo que abastece las instalaciones de aquella.

Hidrodinámica

El manantial de Maro es actualmente el principal punto de descarga natural del acuífero, con un caudal medio de 364 l/s, para el periodo comprendido entre 1991 y 1997. Está situado a una distancia aproximada de 800 m al este de la entrada a la cueva y surge a una cota de 120 m s.n.m., es decir, 10 m por debajo de las partes más profundas de aquella. El hidrograma del manantial refleja un rápido incremento del caudal como respuesta a la entrada de las lluvias en el acuífero, lo que pone de manifiesto un cierto grado de karstificación funcional del sistema (Fig. 3).

El sondeo de la cueva se encuentra a una distancia de 70 m al sur de su entrada. El nivel piezométrico se sitúa a la cota de 104 m s.n.m. y el dinámico a 7 m s.n.m. para un caudal de bombeo de 2 l/s. Estos datos contrastan con el elevado caudal del manantial de Maro e indican que el sector de la cueva tiene una cota piezométrica más baja y que el drenaje subterráneo hacia el manantial se realiza desde un sector más septentrional.

Hidrogeoquímica

Las aguas drenadas por el manantial de Maro son de facies bicarbonatada a sulfatada cálcico-magnésica, presentan una temperatura media ligeramente superior a

19°C y una conductividad media de 703 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, las aguas del sondeo son bicarbonatadas cálcicas, con una conductividad media de 652 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La evolución temporal de algunos de los parámetros analizados en las aguas del manantial (Fig. 3), ponen de manifiesto un efecto de dilución coincidente con el aumento de caudal originado por las lluvias. Con motivo de la crecida de finales de 1995, la conductividad del agua pasó desde 850 a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir la mineralización del agua disminuyó a la mitad. Por lo tanto, el manantial de Maro presenta una escasa inercia y un bajo poder regulador, en definitiva, un régimen de descarga típicamente kárstico, lo cual está en consonancia con las observaciones hidrodinámicas antes realizadas.

LAS AGUAS DE LA ZONA NO SATURADA (CUEVA DE NERJA)

En este caso se ha dispuesto de un control sistemático en varios puntos de la cueva, tanto de los caudales de goteo como de la composición química de las aguas. Romero *et al.* (1991) realizaron, con anterioridad a este trabajo, varios muestreos preliminares fundamentalmente en algunos puntos de goteo de las Galerías Turísticas.

Los caudales de goteo

En general son muy bajos en toda la cueva. Desde octubre de 1991 hasta mayo de 1992, los caudales medios de diez puntos de goteo importantes varían entre 0,38 cm^3/min . y 1,63 cm^3/min .

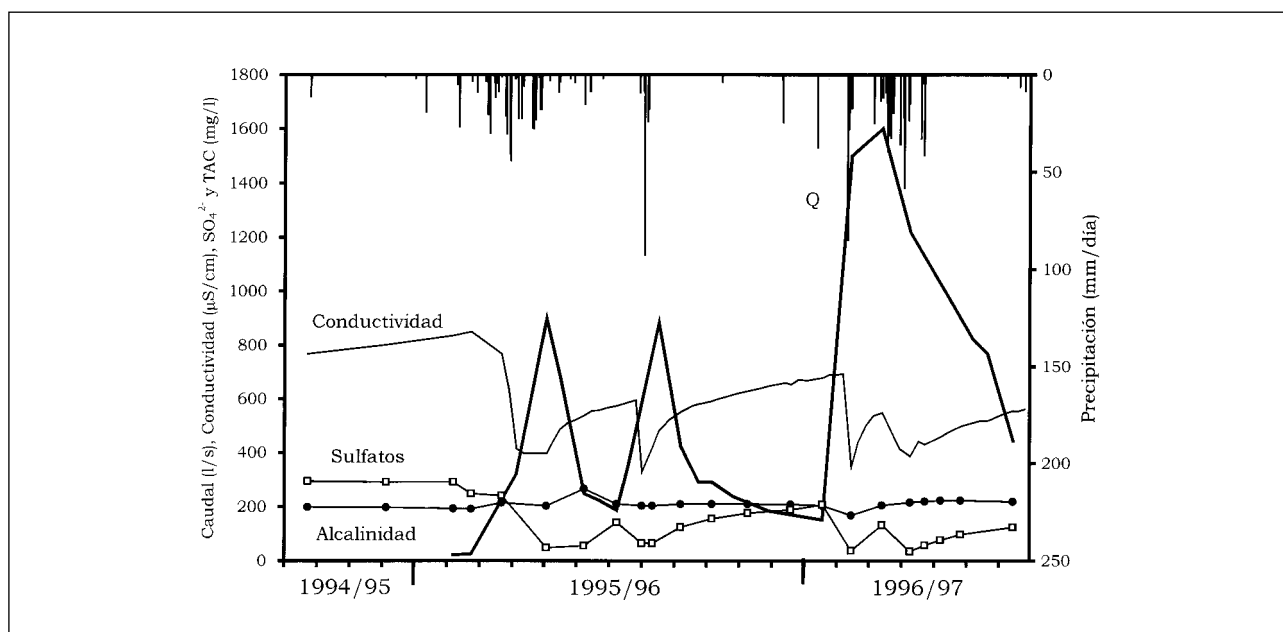


Fig.3.- Hidrograma del manantial de Maro y evolución temporal de algunos parámetros hidroquímicos

En un periodo más amplio, 1992-1996, se ha medido el caudal de goteo en el Rincón del Órgano, situado en la zona visitable de la cueva, este goteo ha variado entre 0 y 308 cm³/día, con un valor medio de 50 cm³/día. (Carrasco *et al.*, 1996). El hidrograma del punto de goteo presenta caudales bajos en invierno y primavera y valores más altos en verano (Fig. 4). La tendencia se interrumpe en los meses de Enero y Febrero de 1996, cuando se registra una crecida como consecuencia de las abundantes lluvias ocurridas a finales de 1995.

A la vista de la evolución antes descrita puede indicarse que existe una circulación lenta del agua de lluvia a través de los mármoles que hay encima de la cueva, produciéndose un desfase estacional desde la entrada de la precipitación hasta su salida por los puntos de goteo. Es decir, se trata de un sistema muy inercial, que tarda mucho en responder ante la lluvia y, por tanto, presenta un gran poder modulador de la señal de entrada (precipitación). No obstante, cuando tienen lugar lluvias abundantes se produce un aumento rápido de caudal.

Hidrogeoquímica de las aguas de infiltración

Las aguas de infiltración son de facies bicarbonatada magnésico-cálcica (Fig. 5), debido a la naturaleza dolomítica de los mármoles por los que circulan, con una conductividad media variable entre 392 y 547 µS/cm, según los puntos (Andreo y Carrasco, 1993b; Carrasco y Andreo, 1993). La temperatura media de estas aguas es más baja en la zona visitable (18,6 - 18,9 °C) que en la no visitable (entre 19,2 y 20 °C), debido probablemente a la proximidad de la primera a las entradas naturales de la cueva.

Hay otro tipo minoritario de aguas drenadas por los puntos de goteo de la parte más externa de la cavidad (entrada primitiva), que tienen una facies mixta entre bicarbonatada y sulfatada cálcico-magnésica (Fig. 5) y una mayor conductividad media (1148 µS/cm). Ello se debe a que son aguas procedentes del sondeo de la cueva, utilizadas para regar el jardín y posteriormente gotean en el interior de la cavidad.

Parámetros del sistema calco-carbónico

Dentro de la cueva, la presión parcial del CO₂ (pCO₂) es mayor en las aguas de las Galerías Turísticas (entre 0,13 y 0,22 % de media), que en las de las Galerías Altas donde raramente pasa el 0,1 %, por tanto, más próxima a la atmosférica (0,03-0,04 %). Esto puede deberse a la influencia de los visitantes en las primeras, sobre todo en la época estival (Andreo y Carrasco, 1993b).

La pCO₂ de las aguas del punto de goteo denominado "entrada primitiva" es más elevada (0,43 %) porque están en relación con el jardín, provisto de un horizonte edáfico y ocupado por un gran número de plantas.

Por lo que respecta a la zona saturada del acuífero, la pCO₂ del manantial de Maro tiene un valor medio de 0,29 %, con escasas variaciones estacionales significativas.

Prácticamente todas las muestras de agua tomadas en el interior de la cueva tienen un índice de saturación en calcita (dpH) superior a 0,5, es decir, están sobresaturadas en calcita, y además son incrustantes. Se trata, por tanto, de aguas características de una infiltración lenta,

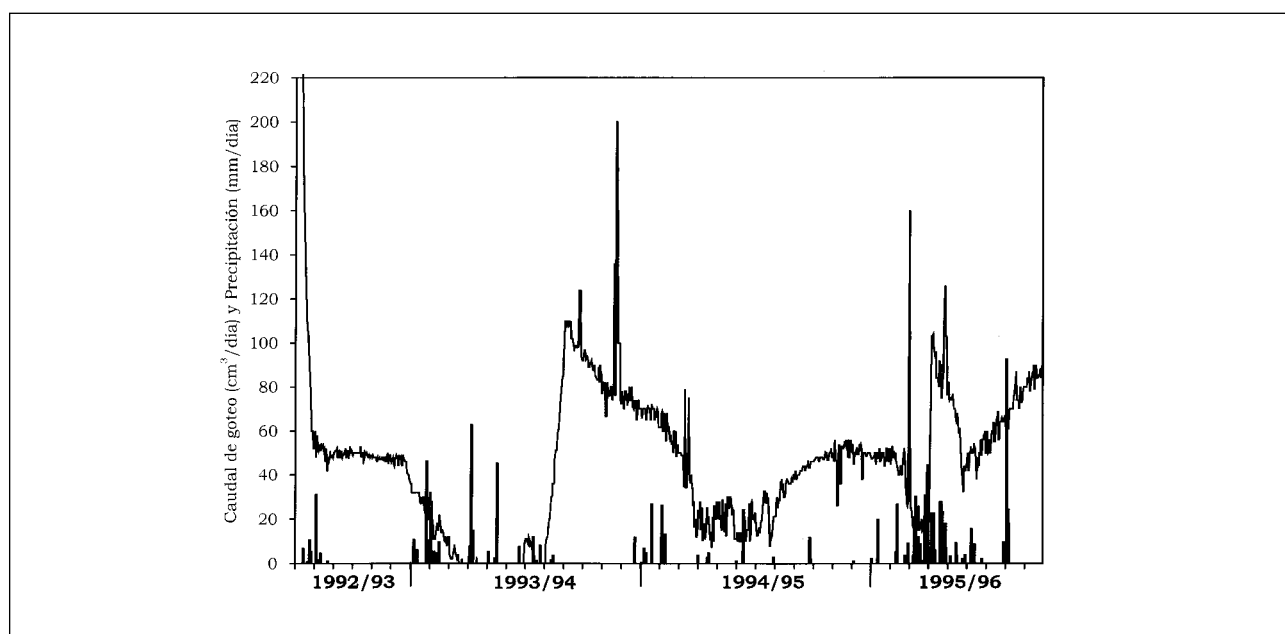


Fig.4.- Evolución temporal de los caudales de goteo en el Rincón del Órgano, zona visitable de la cueva de Nerja.

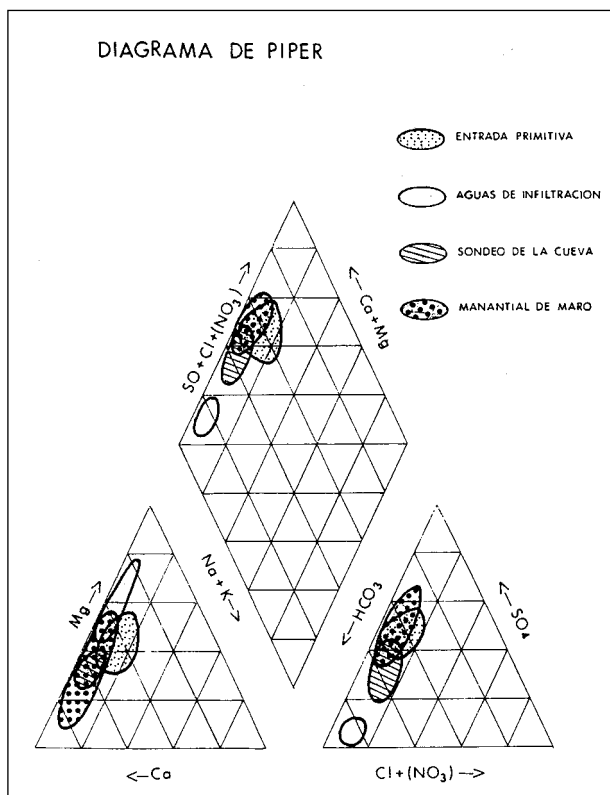


Fig.5.- Representación gráfica de las aguas muestreadas pertenecientes al sector meridional de Sierra Almirajara

sometidas a un flujo difásico (con intercambios agua-aire en las fisuras de la roca) que controla las variaciones en los componentes del sistema calcocarbónico. Por este motivo la poca actividad kárstica que hay en la cueva, en relación con las aguas de infiltración, queda limitada a la escasa y lenta formación de espeleotemas por precipitación de carbonato cálcico (Andreo y Carrasco, 1993b).

Las aguas drenadas por el manantial de Maro, que constituyen la salida natural del acuífero, presentan un dpH medio de 0,12, con valores más bajos en los periodos de mayor caudal.

CONCLUSIONES

La cueva de Nerja se ha excavado sobre los mármoles blancos dolomíticos que constituyen la base de la formación carbonatada alpujárride en la Sierra Almirajara. En el entorno de la cueva de Nerja la estructura geológica es tabular, ligeramente buzante al sur, y está afectada por fallas de desgarre y/o normales de dirección NO-SE, cuya actividad ha perdurado, como mínimo, hasta el Pleistoceno medio-superior.

La génesis de la cueva de Nerja se remonta, como mínimo, al Pleistoceno inferior, al haberse datado en su interior espeleotemas de más de 800.000 años de antigüedad; es posible que se remonte al Plioceno superior, e

incluso a momentos anteriores. Existen, al menos, seis generaciones o fases de crecimiento coincidentes con épocas de temperaturas relativamente elevadas y carácter húmedo.

Desde el punto de vista hidrogeológico la cueva se encuentra varios metros por encima del nivel piezométrico, es decir en la zona no saturada del sector meridional de Sierra Almirajara. Este acuífero se recarga fundamentalmente a partir del agua de lluvia y su principal punto de descarga natural es el manantial de Maro, con un caudal medio de 364 l/s (para el periodo 1991-97)

El estudio del hidrograma del manantial de Maro y el control sistemático de la composición química de sus aguas, ponen de manifiesto rápidas respuestas ante las precipitaciones y, por tanto, un cierto grado de karstificación funcional. Estas circunstancias no se observan en los puntos de goteo del interior de la cavidad, que presentan caudales insignificantes y, en general poco variables, al igual que ocurre con la composición química de sus aguas. Por tanto, el epikarst de la cueva es muy inercial, es decir, tarda mucho en responder a las lluvias.

En definitiva, la cueva de Nerja, es una cavidad dentro del conjunto de la zona no saturada del acuífero del sector meridional de Sierra Almirajara y la alimentación a la zona saturada se realiza desde otros lugares del acuífero. La cueva representa un punto de descarga antiguo, donde actualmente la actividad kárstica queda reducida a la lenta formación de espeleotemas porque la escasa cantidad de agua que gotea en su interior está saturada de carbonato cálcico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Patronato de la Cueva de Nerja y constituye una contribución al Proyecto IGCP 397 de la UNESCO.

REFERENCIAS

- ANDREO, B; CARRASCO, F. y SANZ DE GALDEANO, C. (1993): Estudio geológico del entorno de la Cueva de Nerja. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 25-50.
- ANDREO, B. y CARRASCO, F. (1993a): Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja* 3, 163-187.
- ANDREO, B. y CARRASCO, F. (1993b): Estudio geoquímico de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja* 3, 299-328.
- AVIDAD, J. y GARCÍA-DUEÑAS, V. (1980): *Mapa geológico a escala 1:50.000*, Hoja nº 1055 (Motril), I.G.M.E., Memoria explicativa, 36 p.
- BAKALOWICZ, M. (1979): *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification*. Thèse Doctorale Université Paris VI. 269 p.

- CARRASCO, F. y ANDREO, B. (1993): Características geoquímicas de las aguas de infiltración de la Cueva de Nerja (Málaga). *Geogaceta* 14, 9-12.
- CARRASCO, F.; ANDREO, B.; BENAVENTE, J. y VADILLO, I. (1995): Chemistry of the water in the Nerja Cave System (Andalusia, Spain). *Cave and Karst Science*, 21, 27-32.
- CARRASCO, F.; ANDREO, B.; LIÑÁN, C. y VADILLO, I. (1996): Consideraciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja (provincia de Málaga). *Recursos hídricos de regiones kársticas*, 249-263.
- DURÁN, J.J. (1996): Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: Contribución al conocimiento paleoclimático del Cuaternario en el Mediterráneo Occidental. Tesis doctoral. Univ. Complutense. 409 p.
- DURÁN, J.J.; GRÜN, R. y FORD, D. (1993): Dataciones geocronológicas (métodos ESR y series de uranio) en la Cueva de Nerja. Implicaciones evolutivas, paleoclimáticas y neotectónicas. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 233-248.
- ELORZA, J.J. y GARCÍA-DUEÑAS, V. (1980): *Mapa geológico a escala 1:50.000*, Hoja nº1054 (Vélez-Málaga), I.G.M.E. Memoria explicativa, 59 p.
- FERNÁNDEZ DEL RÍO, G.; CASTILLO, E.; DELGADO-PASTOR, J. y VILLALOBOS-MEJÍA, M. (1992): Evaluación de recursos hídricos de las Sierras Tejeda y Almijara (Málaga-Granada). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 15, 241-256.
- FOURNIGUET, J. (1975): *Néotectonique et Quaternaire marin sur le littoral de la Sierra Nevada. Andalousie (Espagne)*. Thèse 3^{er} cycle. Université d'Orleans, 234 p.
- GUERRA, A. y SERRANO, F. (1993): Análisis estratigráfico de los materiales neógeno-cuaternarios de la región de Nerja. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 55-90.
- IGME (1983): *Sistema Acuífero nº 41, calizas y dolomías triásicas de la Sierra Almijara-Sierra de Lújar*: Informe técnico nº 10.
- JORDÁ-PARDO, J.F.; AURA-TORTOSA, J.E. y JORDA-CERDÁ, F. (1990): El límite Pleistoceno-Holoceno en el yacimiento de la Cueva de Nerja (Málaga). *Geogaceta*, 8, 102-104.
- LHÉNAFF, R. (1981): *Recherches géomorphologiques sur les Cordillères Bétiques Centro-occidentales (Espagne)*, Thèse de 3^{er} cycle, Université de Lille, 713 p.
- MARTÍN-ALGARRA, A. (1987): *Evolución Geológica Alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Sector Occidental)*. Tesis doctoral. Univ. Granada, 1.368 p.
- OLLERO ROBLES, E.; GARCÍA-GARCÍA, J.L. y ALCAIN MARTÍNEZ, G. (1988): Características hidrogeológicas del acuífero carbonatado costero de Las Alberquillas. *Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros (TIAC'88)*, 3, 439-453.
- ROMERO, P.; BORREGO, J.J.; DE VICENTE, A.; MORÍNIGO, A.; MARTÍNEZ-MANZANARES, E.; ARRABAL, F.; FLORIDO, J.A.; AVILES, M.; CORNAX, R.; CODINA, J.C. y ARCOS, M.L. (1991): Estudio microbiológico y químico de las aguas de la Cueva de Nerja. En F. MARÍN y F. CARRASCO (Eds.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 2, 45-109.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1986): Structure et stratigraphie du secteur oriental de la Sierra Almijara (Zone Alpujarride, Cordillères Bétiques). *Estudios Geológicos*, 42, 281-289.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1989). Estructura de las Sierras Tejeda y Cómpeta (Conjunto Alpujarride, Cordilleras Béticas). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 2, 77-84.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1990a): Estructura y estratigrafía de la Sierra de los Guájares y sectores próximos (Conjunto Alpujarride, Cordilleras Béticas). *Estudios Geológicos*, 46, 123-134.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1990b): Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172, 107-119.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1993): La fracturación en el entorno de la Cueva de Nerja. En F. CARRASCO (Ed.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 3, 95-114.
- SCHOELLER, H. (1962): *Les eaux souterraines*. Masson, 642 p.
- SGOP (1988): *Estudio 07/88 de síntesis de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características*. Servicio Geológico de Obras Públicas.
- SGOP (1991): *Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guájares (Málaga y Granada)*. Servicio Geológico de Obras Públicas.
- SHACKLETON, N.J. y OPDYKE, N.D. (1973): Oxygen isotope and paleoclimatic stratigraphy of Equatorial Pacific Core V 28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10⁵ year scale. *Quaternary Research*, 3, 39-55.